



Pierre Aigrain et le Laboratoire de physique des solides de l'École normale supérieure Genèse et développements des semi-conducteurs : 1948-1965

Pierre Baruch, Ludivine Bantigny

► To cite this version:

Pierre Baruch, Ludivine Bantigny. Pierre Aigrain et le Laboratoire de physique des solides de l'École normale supérieure Genèse et développements des semi-conducteurs : 1948-1965. Bulletin de la Société Française de Physique, 2002, 136, p. 4-11. hal-00088219

HAL Id: hal-00088219

<https://hal.science/hal-00088219>

Submitted on 31 Jul 2006

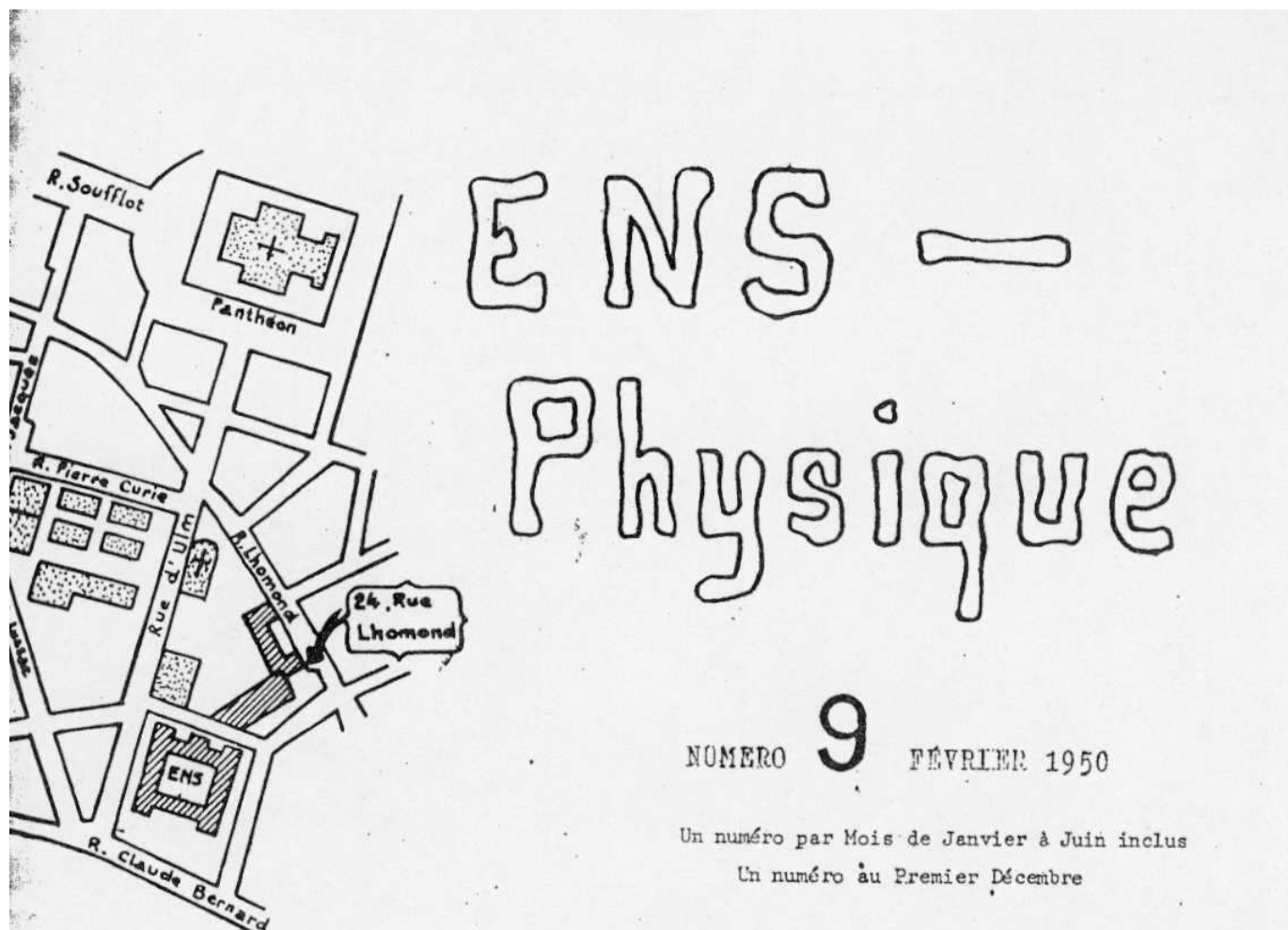
HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

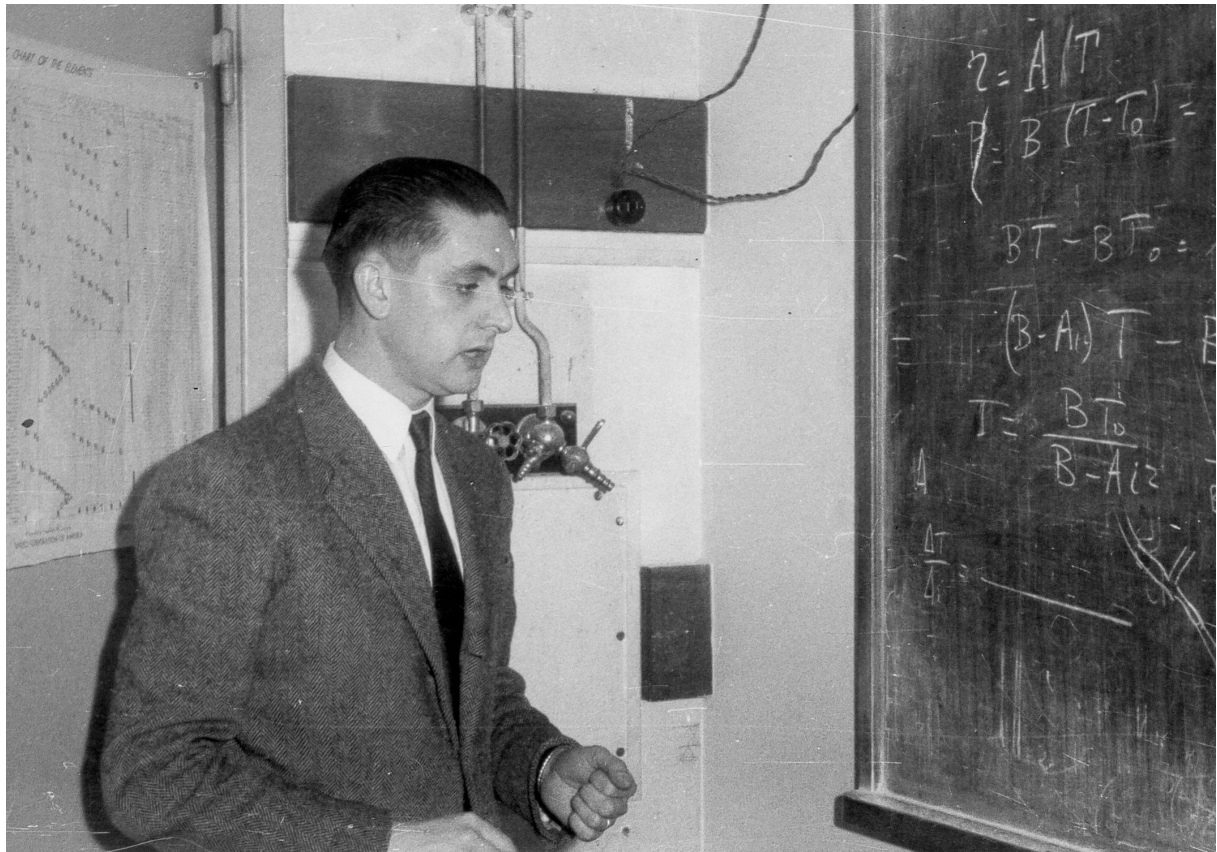
L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

LES SEMICONDUCTEURS AU LABORATOIRE DE PHYSIQUE DE L'ENS.

1948-1965
Genèse et développement

Entretiens avec Pierre AIGRAIN
(2001-2002)





Pierre Aigrain
et le laboratoire de physique des solides
de l'École Normale Supérieure.
Genèse et développements des semi-conducteurs.¹
1948-1965

« De la lumière, un champ électrique, un champ magnétique, un semi-conducteur. Vous prenez trois de ces ingrédients, vous obtenez le quatrième ! »
(d'après P. Aigrain, ca. 1955)

On sait aujourd'hui le rôle que jouent les semi-conducteurs dans la physique contemporaine, les applications très nombreuses auxquelles ils donnent lieu. On connaît sans doute moins, en revanche, l'histoire de leur étude en France. Cet article a pour objet de retracer une partie de cette aventure, au travers d'un homme, Pierre Aigrain, et d'un groupe de chercheurs, rassemblés au sein du laboratoire de physique des solides de l'École Normale Supérieure. Il s'agit en effet de comprendre à la fois une trajectoire, Pierre Aigrain ayant contribué de manière essentielle au développement de la recherche sur les semi-conducteurs, au cours d'une période où tout restait à découvrir en ce domaine, mais aussi la constitution d'un réseau de physiciens, venus ou non de l'ENS, et le rayonnement de leurs travaux grâce d'une part aux relations internationales qu'ils surent entretenir, grâce également, d'autre part, à la dynamique qu'ils inspirèrent dans le monde de l'entreprise.

Pierre Aigrain a créé, en 1950, puis dirigé le laboratoire de physique des solides de l'ENS, l'un des seuls en France à avoir véritablement impulsé les études sur les semi-conducteurs². Mais il a également été Directeur scientifique des Recherches et Moyens d'Essai du Ministère des Armées (DRME) de 1961 à 1965, Directeur des Enseignements supérieurs de 1965 à 1967, Délégué général au sein de la Délégation Générale de la Recherche Scientifique et Technique (DGRST), de 1968 à 1973, Secrétaire d'État à la Recherche de 1978 à 1981 : c'est dire qu'il a occupé toutes les fonctions permettant de développer la recherche en France et d'assurer son rayonnement international. Étrange parcours que celui de cet ancien enseigne de vaisseau qui n'aimait pas la Marine, qui ne s'embarqua en tout et pour tout qu'une seule fois sur un vaisseau de guerre, et qui dut passer un mois en mer pendant toute la durée de son service. C'est en effet par une série de

¹ Cet article est le fruit d'une série de dix-sept entretiens menés avec d'anciens élèves et collaborateurs de Pierre Aigrain, entre les mois de mai 2001 et avril 2002 ; il s'agit de Georges Amsel, Minko Balkanski, Pierre Baruch, Claude Benoît à La Guillaume, Maurice Bernard, Julien Bok, Jean-Loup Delcroix, Claude Dugas, Jacques Friedel, Pierre-Gilles de Gennes, Wladimir Mercouroff, Philippe Nozières, Claudette Rigaux, Michel Rodot, Érick Spitz, Michel Voos et Albert Zylberstejn ; Jacques Legrand des Cloizeaux, Lucien Godefroy, Herbert Budd ont écrit pour évoquer quelques souvenirs. On a tenté d'y restituer et d'y mêler ce qui avait fait la richesse de ces rencontres, c'est-à-dire à la fois les aspects scientifiques et techniques d'une part, et les souvenirs et anecdotes qui tissèrent la trame des travaux et des jours dans le laboratoire de la rue Lhomond, d'autre part. Claude Dugas et Frederick Seitz ont envoyé des contributions, jointes en fin de ce document.

² D'autres s'y sont cependant consacrés avec réussite également, comme le C.N.E.T. avec Maurice Bernard et le CNRS à Meudon-Bellevue avec Michel Rodot.

coïncidences, et par la volonté d'une mère généreuse mais ferme, ancienne résistante déportée, que Pierre Aigrain³, après des études au lycée Saint-Louis, se trouva entrer à l'École Navale, en 1942. Un choix par défaut en quelque sorte, d'où cependant découle toute sa carrière. Convoqué le 8 octobre pour sa rentrée à l'École, l'aspirant Aigrain assista, l'un des premiers et à l'avant-scène, au sabordage de la flotte française à Toulon, le 27 novembre. Désormais sans emploi, tandis que la Marine avait fait le choix curieux d'installer l'École Navale à Clérac (Lot-et-Garonne), Pierre Aigrain fit partie de cette promotion envoyée aux États-Unis à la Libération, afin de former des pilotes d'aéronavale. Retenu par le Carnegie Institute of Technology, à Pittsburgh, grâce à son succès aux différents tests qui y étaient proposés, le jeune Aigrain y obtint brillamment son *master*, et fut sollicité pour y poursuivre ses études et y entreprendre un doctorat.

Or, au même moment aux États-Unis se trouvait un homme qui allait occuper une place décisive dans la carrière de nombre de jeunes physiciens, et qui s'avéra être l'un des plus importants hommes de science en France après-guerre. Cet homme était Yves Rocard. Nommé directeur du laboratoire de Physique de l'ENS en 1945, il était également alors conseiller technique de la Marine nationale et se rendait fréquemment à ce titre aux États-Unis⁴. À Carnegie Tech, il y avait également un jeune physicien, Claude Dugas, qui allait



fig. 2 : Claude Dugas, Pierre Aigrain et un participant non identifié - et peu intéressé- à la 7^{ème} Conférence internationale sur la physique des semiconducteurs (UNESCO, Paris, juillet 1964)

de son renouveau après guerre, il fut aussi un extraordinaire détecteur de talents, un maître respecté et un « patron » toujours prêt à aider ses élèves à aller de l'avant. Dans la genèse des semi-conducteurs, il occupa une place déterminante, par l'initiative heureuse qu'il encouragea. À l'issue de la guerre, il avait pu rassembler un matériel de fortune, parfois disparate, soit récupéré en Allemagne, soit acheté aux surplus militaires américains. Aigrain, Dugas, sous la tutelle de Rocard : les premiers ingrédients du futur laboratoire de physique des solides étaient réunis, la première étincelle aussi, étant donné la vivacité et la flamme qui animaient les trois personnages.

³ Né en 1924.

⁴ Voir, sur le laboratoire de Physique de l'ENS et la personnalité très complexe d'Yves Rocard, l'article de Dominique Pestre, "La création d'un nouvel univers physicien, Yves Rocard et le laboratoire de physique de l'ENS, 1938/1960", dans l'ouvrage dirigé par Jean-François Sirinelli sur le bicentenaire de l'École [Normale Supérieure](#).

À son retour des États-Unis en 1948, Pierre Aigrain, déjà titulaire d'un Doctorat en électrotechnique du Carnegie Tech, attaqua un nouveau sujet de thèse, la physique du transistor, récemment inventé aux Bell Laboratories⁵ (fin 1947) et avec Claude Dugas, jeta les premières bases de ce qui allait devenir un important laboratoire dans le domaine des semi-conducteurs et plus généralement, de la physique des solides.

Ce fut l'époque où l'on vit Pierre Aigrain, pour sa thèse, manœuvrer de petites pointes sur un morceau de germanium : Deux voies essentielles se dessinèrent ainsi peu à peu : d'une part, les phénomènes de transport d'énergie, de charges électriques et toute la microélectronique, avec diodes, transistors et circuits intégrés, qui eurent des applications considérables; d'autre part, l'optique des semi-conducteurs, à la base de toutes les communications actuelles, les lasers à semi-conducteurs permettant aujourd'hui de lire CD et DVD notamment.

Cependant, les moyens étaient très limités ; la notion de politique scientifique ne s'était pratiquement pas fait jour – ce n'est que plus tard, avec le Colloque de Caen, en 1956, (dont Aigrain lui-même sera un des acteurs) - que la nécessité d'une politique de recherche cohérente s'imposera, sous l'impulsion de Pierre Mendès France⁶. Elle prendra forme, en 1958, avec la création de la DGRST : Pierre Aigrain sera membre de son premier "Comité des Sages", avant de la diriger. Les financements étaient très sporadiques, il fallait rechercher des soutiens auprès des industriels, des militaires ou même à l'étranger. En revanche, dès sa naissance, le laboratoire bénéficiait d'une ressource précieuse, le recrutement de jeunes talents dans les Ecoles Normales Supérieures⁷

Dès 1949, Y. Rocard appuya la création de cette nouvelle équipe. Il avait créé un séminaire hebdomadaire, où intervenaient aussi bien des chercheurs confirmés, locaux ou externes qui présentaient des problèmes d'actualité, que des élèves physiciens en cours d'études qui s'essayaient au difficile exercice de l'exposé scientifique. Ce type de séminaire, banal maintenant, était cependant une nouveauté et Y. Rocard y tenait beaucoup ; il publiait d'ailleurs régulièrement un bulletin "ENS Physique", qui rendait compte des activités du laboratoire et de ces séminaires, où C. Dugas et P. Aigrain ont présenté, dès 1949-50, l'état de leurs travaux (voir encadré). L'intérêt d'Yves Rocard pour le développement de cette nouvelle discipline y apparaît clairement.

COMPTE-RENDU DU SEMINAIRE DE PHYSIQUE 1948-1949

1^{er} Séminaire

Pierre AIGRAIN - Normalien d'Honneur, s'il daigne accepter ce titre- a parlé du ralentissement des neutrons et de la "théorie élémentaire de la pile atomique". Exposé basé sur une série de conférences de physique nucléaire faites au Carnegie Institute of Technology par le Dr CREUTZ et sur les publications de la Commission Américaine de l'Energie Atomique notamment le "Los Alamos Report". Il était

⁵ William Shockley, Walter Brattain, John Bardeen, alors à Bell Labs, se virent décerner en 1956 le prix Nobel de physique pour cette invention. John Bardeen reçut, quelques années plus tard, un deuxième prix Nobel pour sa théorie de la supraconductivité.

⁶ Voir à ce sujet l'article de Vincent Duclert, "Pierre Mendès France et la recherche. L'avenir d'une politique", in *Pierre Mendès France et la modernité*, Matériaux pour l'histoire de notre temps, 2002.

⁷ Les élèves des ENS devaient faire en troisième année un stage de recherche, sanctionné par le "Diplôme d'études supérieures" (DES). Après l'agrégation, quelques-uns étaient recrutés par l'Ecole comme Agrégés-préparateurs (« Caïmans ») et préparaient une thèse.

difficile de donner l'ensemble des faits fondamentaux en un temps aussi court, par suite la conférence a été rapide mais a abordé d'une manière précise la plupart des problèmes importants. Dans l'état actuel de l'enseignement de licence et d'agrégation, elle a constitué une mise à jour extrêmement intéressante pour les travailleurs d'autres spécialités.

2^{ème} Séminaire

BARUCH, un très jeune élève, a voulu "faire sa force" en nous parlant de la théorie électronique des métaux dans sa forme classique due à SOMMERFELD.

3^{ème} Séminaire

Claude DUGAS, retour de Carnegie-Tech, Pittsburgh, Pa, a indiqué les principes généraux de l'étude des semiconducteurs et la distinction expérimentale entre la conductibilité ionique d'une part et par trous positifs et électrons d'autre part. Les renseignements apportés par les mesures de conductibilité, d'effet Hall et d'effets connexes ont été analysés et permettent d'étudier la nature et le nombre des porteurs de charges dans ces-substances dont les dernières années ont vu des applications de plus en plus nombreuses et importantes. Pour terminer les éléments de la théorie des bandes d'énergie dans un solide ont été indiqués, ce qui fournit la base du modèle actuellement admis des semi-conducteurs. Dans la discussion on a surtout insisté sur les applications (thermistors, redresseurs, transistors, substances fluorescentes, etc...) Véritable apôtre du semi-conducteur, C. DUGAS s'enorgueillit de nombreuses conversions chez ses jeunes camarades.

SEMINAIRES DE PHYSIQUE 1949-50

1^{er} SEMINAIRE P. AIGRAIN

QUELQUES ASPECTS DE LA THEORIE DES REDRESSEURS ET AMPLIFICATEURS A CRISTAL SEMI-CONDUCTEUR

Après rappel des notions fondamentales et des valeurs numériques, qui caractérisent le germanium et le silicium utilisés dans les recherches modernes, AIGRAIN a montré les points faibles de la théorie classique du redressement dans les semiconducteurs. Il a ensuite exposé les travaux récents de BRATTAIN, BARDEEN et SHOCKLEY des Bell Telephone et les idées qu'il a développées pour l'explication des caractéristiques des diodes et des transistors, idées qui ont été publiées dans sa thèse. Il a notamment montré comment l'existence d'une mince couche de type p (conduction par trous positifs) à la surface, du germanium de type n (conduction électronique) permet d'approcher numériquement les points des caractéristiques expérimentales avec une erreur très faible et sans hypothèse supplémentaire. . (cf. le compte-rendu de sa thèse, ENS-PHYSIQUE n°12).

Exposé clair, dynamique d'un niveau assez élevé mais qui a intéressé tous les assistants. Bonne propagande en vue de la constitution de notre groupe de Physique des solides.....

L'appui de Rocard permit le développement d'une équipe. Autour de Pierre Aigrain, la cohésion se réalisa très vite, lorsque les premiers élèves arrivèrent, entre 1948 et 1955. La première génération de normaliens venus travailler avec lui comptait en son sein Pierre Baruch, Olivier Garreta dit « le Big », Claude Benoît à La Guillaume, Jean-Marie Thuillier, Claudette Rigaux, Pierre-Gilles de Gennes (qui ne passa qu'un an, pour son DES), Philippe Nozières, Julien Bok, Lucien Godefroy, Jacques Legrand des Cloizeaux, Roland Schuttler. Il y eut aussi Minko Balkanski : fidèle collaborateur et ami de Pierre Aigrain, arrivé de Bulgarie. Tous étaient attirés autant par la personnalité hors du commun de Pierre Aigrain que par les perspectives neuves qu'offrait la recherche sur les semi-conducteurs. Mais Pierre Aigrain puisait également dans un vivier de jeunes chercheurs qui dépassait les limites



fig. 3 : Rue Lhomond, autour de 1955 : de gauche à droite : O. Garreta, P. Aigrain (au second plan), C. Benoît à la Guillaume, J.-M. Thuillier.

étroites de l'École Normale. Il aimait en effet à diversifier les origines de ses collaborateurs, ; si, dans la "deuxième génération", Wladimir Mercouff, Olivier Parodi et bien d'autres étaient normaliens, beaucoup, comme Tavernier, Leclerc, Fortini, Voos⁸ venaient de Supélec, où ils avaient suivi les cours de Pierre Aigrain, cours qui « détonnaient » par rapport à l'enseignement quelque peu poussiéreux qui y était alors prodigué. Arrivaient de la Faculté des sciences Albert Libchaber, Albert Zylbersztejn, Georges Amsel, venu de la physique nucléaire, Robert

Veilex, Claude Sébenne, H. Bulliard, Tous ont préparé et soutenu leur thèse sous la direction d'Aigrain. Quelques personnages inclassables passèrent rue Lhomond, comme Lagrenaudie, féru de minéraux semiconducteurs, Surduts, très secret sur ses travaux. Quelques étudiants ou stagiaires étrangers, comme Herbert Budd⁹, venu du MIT pour préparer une thèse chez Aigrain, ont complété l'équipe. Enfin, la réputation du laboratoire attirait des chercheurs étrangers de très haut niveau qui venaient y passer une année sabbatique, comme Jacques Pankove, David Pines, Walter Kohn¹⁰

Les relations très étroites, nouées par Rocard puis par Aigrain avec les États-Unis, allaient rapidement devenir très fécondes. Un minimum d'équipement moderne fut acheté par Rocard, aidé par la Marine, à des prix dérisoires, aux surplus militaires américains. Surtout, deux organismes jouèrent un rôle décisif dans les premiers financements du laboratoire de physique des solides, à l'ENS : c'étaient l'*Office of Naval Research* et l'*Air Force Office of Scientific Research*. En soutenant des laboratoires à l'extérieur des États-Unis, et notamment en France et en Grande-Bretagne, ils souhaitaient développer les avancées scientifiques qui avaient déjà permis, en partie, de gagner la guerre. Des contrats de recherche furent donc signés : le laboratoire s'engageait à remettre chaque année un rapport d'activité, et Pierre Aigrain devait se rendre une fois par an aux États-Unis pour y faire des conférences. Les

⁸ Michel Voos est arrivé à l'ENS en 1966 ; il y est resté. Il est aujourd'hui directeur du laboratoire de la rue Lhomond.

⁹ H. Budd devint directeur scientifique d'IBM pour l'Europe

¹⁰ Avec P. Hohenberg, autre visiteur, il y jeta les bases de sa théorie de la "Fonctionnelle de densité", qui lui valut le Prix Nobel en 1998.

échanges fructueux qui s'établirent ainsi entre les deux pays étaient très enrichissants pour les physiciens de l'ENS. Les visites qu'ils pouvaient désormais faire aux États-Unis, et que les modestes crédits octroyés par le CNRS ou le ministère ne leur auraient pas permis de réaliser, les maintenaient en contact avec les grands courants de la recherche. Voyageant à bord d'avions militaires américains, les jeunes gens de l'équipe Aigrain allaient bénéficier ainsi des grandes conférences internationales, des communications officielles qui s'y tenaient, mais



fig. 4 : J. Bardeen, P. Baruch, J. Bok, P. Aigrain, O. Garreta en 1958 à la Conférence de Rochester (NY).

également des discussions scientifiques dans les couloirs, tout aussi passionnantes. Ils purent ainsi présenter leurs travaux en 1957, à Rochester (NY) à la Conférence internationale sur la physique des semiconducteurs. En outre, les Américains leur fournissaient un élément très précieux : mieux que de l'or, de l'hélium, malgré l'embargo qui régnait depuis 1917 et bien qu'il n'y eût plus de zeppelins allemands depuis une vingtaine d'années ! Cet

hélium, partagé avec les chercheurs du CNRS à Meudon, qui disposaient quant à eux d'un liquéfacteur suffisamment puissant, était indispensable aux recherches en cours. Ainsi, le laboratoire de physique des solides a-t-il dépendu, dans d'excellentes conditions de coopération, des ressources américaines, jusqu'en 1958, date de la création de la DGRST. À partir de ce moment, les financements français devinrent substantiels, car le général de Gaulle, avec Michel Debré ou encore Gaston Palewski, s'intéressa de près au développement de la recherche scientifique¹¹. Cependant des financements américains se poursuivirent pendant toute la décennie.

Le laboratoire de l'École Normale Supérieure, dans cet immédiat après-guerre, avait pris forme, autour de quelques thèmes majeurs : les semi-conducteurs avec l'équipe Aigrain, l'optique autour d'Alfred Kastler, la microscopie électronique et la résonance magnétique avec Grivet, enfin la radioastronomie avec Steinberg et Denisse, la sismologie et la géophysique par Yves Rocard. Un peu plus tard, vers 1955, vint s'y ajouter le groupe de physique nucléaire, sous la direction du professeur Hans Von Halban, venu tout droit d'Oxford à la demande de Rocard pour préparer la construction d'un grand accélérateur linéaire, mais qui quitta rapidement les locaux de la rue Lhomond pour ceux d'Orsay ; enfin, Maurice Lévy organisa à l'ENS une équipe de théoriciens des particules élémentaires. Le laboratoire acquit ainsi sa cohérence, ses liens d'amitié entre équipes, parfois non dénués de tensions cependant : amis et rivaux, tels étaient par exemple Rocard et Kastler, mais l'essentiel est bien que tous firent rayonner la physique, depuis la rue Lhomond, en France et dans le monde.

¹¹ Sur la Direction Générale de la Recherche Scientifique et Technique, à laquelle Pierre Aigrain a appartenu dès 1958 en tant que membre du « groupe des douze » puis en tant que Délégué général en 1968, Vincent Duclert a réalisé un travail important au cours d'un séminaire d'histoire à l'École des Hautes Études en Sciences Sociales, à partir de novembre 2000.

Pourtant, la précarité matérielle du laboratoire, à ses débuts, ne permit pas toujours de mener à leur terme les idées que Pierre Aigrain, à l'intelligence et l'imagination bouillonnantes, lançait sans discontinuer. À titre d'exemple, Aigrain proposa à son premier élève, Pierre Baruch, un sujet de diplôme d'études supérieures qui aurait pu porter de grands fruits si les conditions matérielles avaient été réunies : il s'agissait de tester la supraconductivité du nitrure de columbium¹². Cependant, pour la détecter, il fallait se procurer de l'hydrogène liquide en quantité suffisante, que l'on ne trouvait à l'époque qu'au laboratoire du CNRS de Bellevue. Il fallait donc circuler en plein Paris, dans une jeep prêtée par la Marine, pour transporter le précieux hydrogène qui risquait à tout moment de provoquer un mélange gazeux détonnant. Une fois arrivé à bon port, l'hydrogène devait encore être pompé pour être refroidi. À force de pomper cependant, l'hydrogène eut tôt fait de disparaître, et l'expérience fut un échec... Avant l'arrivée de l'hélium américain, l'hydrogène liquide était un sujet de préoccupation pour les jeunes physiciens de la rue Lhomond. Par précaution, et dans la mesure où il fallait le transporter dans les rues de la capitale, Pierre Aigrain avait pris contact avec la préfecture de police : il lui fut tranquillement répondu que l'hydrogène liquide ne figurait pas sur la liste officielle des produits dangereux ! Pourtant cet hydrogène était une véritable bombe, et la moindre étincelle pouvait détruire tout un pâté de maisons..... C'est Wladimir Mercoureff, à l'occasion de sa thèse sur la résonance cyclotron dans le germanium, qui a monté en 1959 le premier équipement pour les basses températures du laboratoire de physique de l'Ecole, sous la forme d'un liquéfacteur mixte hydrogène-hélium de la marque TBT.

Il y eut d'ailleurs de belles explosions au laboratoire. L'une surtout est restée dans les mémoires. Olivier Garreta effectuait alors ses premières manipulations de cristaux. La cloche de verre qu'il utilisait fut mal purgée, et c'est miracle qu'il n'y eût rien de plus que quelques égratignures. Le laboratoire disposait d'un four de fusion de zone et de tirage de cristaux pour purifier le germanium¹³ ; c'était un matériel, bricolé sur place, extrêmement délicat à manipuler. Une autre explosion, prolongée cette fois par un incendie, aurait pu elle aussi être dramatique ; elle eut lieu en 1962. Les pompiers dépêchés sur place s'étaient donné pour priorité d'évacuer tout ce qui pouvait demeurer au deuxième étage du laboratoire, hommes et matériel. C'est alors que l'un d'eux, saisissant un récipient, s'apprêta à le jeter purement et simplement par la fenêtre ; le sous-directeur du labo d'alors, J. Hiéblot, arrêta son geste fort heureusement : il s'agissait d'un bidon d'hydrogène liquide ! Il y avait là de quoi faire sauter tout le laboratoire, et une bonne partie de la rue Lhomond... Pierre-Gilles de Gennes raconte aussi que, fabriquant des cristaux de magnésie dans le laboratoire d'Aigrain, il lui arriva de se cacher derrière une table parce que l'expérience fumait et rougeoyait ; mais rien de grave ne se produisit.

Les sujets que proposait alors Pierre Aigrain, les différentes pistes qu'il ouvrait, étaient bien souvent très en avance sur leur temps : ainsi des alliages silicium-germanium par exemple, vers 1953. Mais une fois encore, les moyens expérimentaux étaient insuffisants. Si les capacités intellectuelles étaient réunies à l'École, précisément par la qualité et les origines diverses des chercheurs qu'elle accueillait, les matériaux ont souvent fait défaut, comme l'arséniure de gallium, ou encore un département de cristallogenèse, qui manquait gravement au laboratoire. Dans la physique des solides de l'époque, il s'avérait indispensable, le plus fréquemment, de produire ses échantillons et ses matériaux¹⁴, car il n'y avait pas de semi-

¹² La nomenclature internationale a, depuis, remplacé le nom de Columbium par celui de Niobium. pour l'élément 41.

¹³ Pour la plus grande joie de l'équipe, avait été déterré de la bibliothèque un opuscule, fort sérieux d'ailleurs, traitant de la conductivité électrique du géranium !

¹⁴ Vers 1950, la fabrication, dans le laboratoire, du premier cristal de germanium grâce à un four haute fréquence chauffant un dispositif de purification par « *zone melting* », avait pu susciter une certaine fierté chez ses deux

conducteurs (notamment germanium, silicium, antimoniure d'indium) sur le marché. Or, il était particulièrement difficile de fabriquer des matériaux assez purs. Le laboratoire de l'ENS s'était malgré tout lancé dans cette tâche, mais insuffisamment, et l'on touche sans doute là à l'une de ses limites ; la préparation des matériaux représentait en quelque sorte un « travail de cuisine », que peu ont réellement tenté de mener à bien. Les entreprises avec lesquelles les chercheurs travaillaient, entre autres CSF pour Claude Dugas, Du Pont de Nemours et CSF pour Pierre Aigrain, Péchiney pour Minko Balkanski, LTT pour Pierre Baruch, pouvaient parfois en procurer, mais cela demeurait trop peu, eu égard à l'ampleur des travaux menés. Des collaborations permirent aussi de se procurer des échantillons : par exemple, Minko Balkanski put en rapporter beaucoup de Berlin et de Pologne — les physiciens polonais étaient, de fait, de grands spécialistes de la fabrication des matériaux. De ce point de vue aussi, l'amitié qui lia Pierre Aigrain à Michel Rodot, récemment disparu, fut d'un grand apport pour le laboratoire en particulier et les semi-conducteurs en général. Michel Rodot participa en effet, au début des années 1950, à la création du laboratoire de Bellevue, spécialement consacré à la fabrication de matériaux et à l'étude des composés des semi-conducteurs, et aussitôt pris contact avec Pierre Aigrain. En 1960, les moyens mis en œuvre à Bellevue étaient devenus importants, et ce laboratoire s'était spécialisé dans la préparation et l'étude de semiconducteurs composés (du type II-VI, III-V). Le laboratoire de l'ENS ne poursuivait guère la synthèse de matériaux, avec l'exception notable du tellure (L. Godefroy, puis C. Rigaux)

Malgré les difficultés matérielles, des avancées décisives ont été réalisées par l'équipe Aigrain. En matière d'optique des semi-conducteurs, les recherches menées sur la lumière émise par la recombinaison électrons-trous par Claude Benoît à la Guillaume, bientôt entouré d'une équipe importante, ont joué un rôle essentiel dans la description de la structure électronique des semiconducteurs et ont ouvert la voie aux lasers à semiconducteurs..

Jean-Marie Thuillier, trop tôt disparu¹⁵ initia, avec Lucien Godefroy, Claudette Rigaux, Roland Schuttler, des études sur les surfaces des semiconducteurs en particulier l'oxyde de zinc et l'oxyde de titane. Claudette Rigaux, guidée vers l'équipe Aigrain par son camarade d'agrégation, Philippe Nozières, a aussi beaucoup travaillé sous la direction de Pierre Aigrain, d'abord sur les surfaces de germanium avec puis sur le tellure : Pierre Aigrain était revenu un jour des États-Unis, vers 1957, avec la conviction qu'il y avait là un sujet formidable. À cause de l'absence de symétrie, c'était en effet un matériau aux propriétés très intéressantes, car piézoélectrique, mais des plus difficiles à cristalliser, et en outre toxique¹⁶. Le tellure fut l'un des rares semiconducteurs qui ait été fabriqué par le laboratoire de l'École : on peut y voir à la fois une performance, pour un matériau si difficile à élaborer, mais aussi une carence, pour un laboratoire consacré aux semi-conducteurs.

Paradoxalement, ce laboratoire, en pointe dans la recherche sur les semiconducteurs, ne s'occupa guère des composants, tout en faisant des propositions novatrices. Dès 1951-52 Lucien Godefroy avait fabriqué un transistor à effet de champ en évaporant du tellure sur du titanate de baryum. Ce transistor, peut-être l'un des premiers au monde appliquant des idées de Shockley, était opérationnel, mais ne pût être transféré à l'industrie, en raison du manque

concepteurs, Pierre Baruch et Olivier Garreta. Ils purent être d'ailleurs d'autant plus fiers qu'ils en avaient même fabriqué deux : le cristal, tombé par terre, s'était en effet brisé en deux morceaux ! Les premiers cristaux de silicium furent préparés, vers 1958, par André Fortini, mais avec une taille très réduite, quelques millimètres, comparée aux énormes produits industriels de maintenant — plus de cent kilos ! Quant aux cristaux de magnésie fabriqués par de Gennes, ils étaient le plus souvent courbes, et inutilisables, tant le gradient de température était violent.

¹⁵ Jean-Marie Thuillier est mort en 1973.

¹⁶ Claudette Rigaux ne le sut que bien plus tard, mais elle s'en porte cependant très bien...

de maîtrise dans l'élaboration du matériau. En fait, les chercheurs, autour de P. Aigrain, eurent une démarche voisine dans les deux domaines des matériaux et des composants : montrer la faisabilité de concepts nouveaux, sans aller jusqu'au développement et au transfert vers l'industrie : ce fut le cas pour les éléments thermoélectriques, où néanmoins M. Balkanski put aller jusqu'à en démontrer l'intérêt pour le traitement chirurgical local de la maladie de Parkinson. De même, les diodes émettrices de lumière (C. Benoît), les dispositifs à effet "hélicon" (R. Veilex), les diodes détectrices de rayonnement (G. Amsel et P. Baruch), etc. furent conçus, réalisés et étudiés, avec une avance notable, rue Lhomond, mais furent développés ailleurs, parfois avec le concours des chercheurs de l'ENS.

Julien Bok, pour sa part, étudiait le grand domaine des phénomènes de transport électrique, notamment par la manipulation des "électrons chauds", accélérés par un champ électrique intense, dont l'idée émanait de William Shockley, relayé par Pierre Aigrain. Julien Bok travailla donc principalement à partir d'un matériau, l'antimoniure d'indium (InSb), pour lequel la mobilité des électrons était la plus grande et atteignait même des valeurs cinétiques fantastiques. Autour de ces travaux se constitua bientôt un groupe renommé, composé de Julien Bok, Robert Veilex, dont la carrière se poursuivit notamment chez France Télécom et Philips, Albert Libchaber, l'un des très grands biophysiciens français aujourd'hui, et Albert Zylberstejn, qui créa par la suite le laboratoire de physique du laboratoire central de recherche de Thomson-CSF et acheva sa carrière comme directeur du laboratoire de Bagneux du CNET.

Un accélérateur Van de Graaf de 2 MeV, acquis pour l'équipe Halban, était, en temps partagé, utilisé pour des recherches à l'interface entre physique des solides et physique nucléaire. Pierre Baruch étudiait l'effet des rayonnements sur les solides et Georges Amsel jetait les bases de ce qui allait devenir la puissante méthode d'analyse par réactions nucléaires. Tous deux, avec O. Smulkovski, démontrèrent la détection de rayonnements nucléaires par des diodes au silicium.

Enfin, en matière de théorie, le groupe formé autour de Pierre Aigrain ne fut pas non plus en reste ; certains de ses élèves ont d'ailleurs connu des parcours fulgurants, tel Philippe Nozières, qui commença en théorisant, sous la direction et le regard vigilant d'Aigrain, l'effet photo-magnéto-électrique. On sait qu'il acquit ensuite une grande réputation dans le domaine du problème à N-corps appliqué à la physique de la matière condensée ; à l'âge de vingt-neuf ans, il fut nommé professeur (on disait "maître de conférences" à l'époque) alors qu'il se trouvait encore au-dessous du seuil d'âge minimum. L'effet stimulant exercé par le maître et ami Pierre Aigrain donnait sans doute une énergie déterminante, et surtout permettait l'épanouissement et la fécondité de tous ceux qui travaillaient à ses côtés.

Maître et ami en effet : il ne régnait nullement, dans ce laboratoire, une atmosphère pesante de hiérarchie et de contraintes autoritaires. Le tutoiement entre tous était de règle, y compris entre le « patron » et ses élèves. D'ailleurs, si Pierre Aigrain était « le plus âgé de tous, personne n'y était vieux » — selon la formule de Georges Amsel. Pierre Aigrain en effet, lorsqu'il prit la tête du laboratoire de physique des solides et se lança dans les semi-conducteurs, n'avait que vingt-huit ans, et quelques années à peine le séparaient de ses élèves. Ceux qui le connaissent savent que Pierre Aigrain est la bonté, l'humour — qui n'a entendu ses récits malicieux, ses histoires drôles et son rire éclatant qui résonnait dans les couloirs du labo ? — et l'imagination réunis. Ses incessantes trouvailles, les idées astucieuses que l'on attrapait au vol le matin lorsqu'il arrivait, restent ancrées dans les mémoires¹⁷ et forçaient

¹⁷ Lorsque Pierre-Gilles de Gennes a rencontré Pierre Aigrain pour la première fois, à l'École des Houches, et qu'il l'a entendu évoquer deux ou trois idées très séduisantes, il s'est dit : « C'est là qu'il faut aller », et préféra abandonner la spectroscopie micro-ondes que lui avait proposée Edmond Bauer au profit du labo de l'École Normale, où il avait été élève à partir de 1951.

l'admiration, tout comme la clarté et l'enthousiasme communicatif qu'il montrait dans ses cours. Il y eut enfin les conversations du samedi matin, quand, entre deux parties de "flipper", dans le bistrot du coin, non loin de l'École, chacun essayait d'attirer l'attention d'Aigrain sur ses problèmes; comment les oublier ? Et surtout, comment ne pas respecter et aimer cet homme, toujours attentif et qui a pu être aussi, pour certains jeunes chercheurs, un soutien et un appui ? Ainsi de Georges Amsel, en conflit avec Halban à l'ENS, et qui doit en partie à Pierre Aigrain, à la confiance et à la protection que celui-ci lui témoigna, d'avoir pu poursuivre la brillante carrière qui fut la sienne en matière de méthodes nucléaires d'analyse de matériaux. Jacques Legrand des Cloizeaux, autre théoricien du groupe (il était qualifié de "gyroscopique" par Aigrain, en raison de sa tendance à se mouvoir, non dans la direction de l'impulsion appliquée, mais à angle droit !), rappelle "l'extraordinaire talent qu'avait Aigrain pour présenter les recherches de tous, sous des dehors flatteurs (quoique fidèles) ..."

Grâce à de telles conditions, la bonne humeur régnait dans le groupe de physique des solides, qui, en cela, semblait s'opposer à l'atmosphère studieuse et plus austère (Claudette Rigaux), qui semblait dominer dans le laboratoire Kastler, par exemple. D'excellents souvenirs demeurent également de "l'atelier des chercheurs" dirigé par Corbier, quelque peu anarchiste, qui apprenait aux jeunes physiciens à manier le tour, la perceuse et, avec quelques réticences cependant, la fraiseuse et à reprendre contact avec la matière !-Cette bonne humeur pouvait aussi venir, parfois, d'une autre caractéristique de Pierre Aigrain qui, par mégarde, cassait des chaises en s'y asseyant et qui, s'il élaborait ou examinait montages et manipulations avec une intelligence impressionnante, pouvait aussi en briser certains par quelque geste maladroit...

Un regret sans doute, néanmoins : Pierre Aigrain aime peu écrire. Rédiger des articles représente à ses yeux une phase ennuyeuse par rapport à la réflexion et à l'expérimentation. De ce fait, peu de traces écrites sont demeurées de ses idées souvent géniales¹⁸. Autre conséquence, un Prix Nobel lui a, peut-être, échappé. L'émission de lumière par recombinaison électron-trou, bien étudiée au laboratoire, conduisit Pierre Aigrain à poser, probablement le premier au monde, la question de l'effet laser dans les semiconducteurs et à y apporter une contribution originale qui s'est révélée essentielle. Dès la fin de 1957 ou le début de 1958, par un argument de mécanique quantique, à la fois simple et percutant, bien dans son style de pensée, Pierre Aigrain avait montré qu'il "devait être plus facile de réaliser l'inversion de population" si la lumière émise par un semiconducteur, comme c'est souvent le cas, est accompagnée de l'émission simultanée d'un phonon. Il l'exposa en mai 1958, à Bruxelles, lors du Congrès sur les semiconducteurs, à l'occasion de l'Exposition universelle, dans une communication non publiée. Maurice Bernard se souvient parfaitement bien d'avoir entendu Pierre, probablement un de ces fameux samedis matin, expliquer cette idée brillante qu'il n'avait jamais explicitée sur le papier. Julien Bok précise : "on le lui avait pourtant demandé quinze fois!". C'est IBM qui a ensuite repris l'idée et fabriqué le premier laser à arséniure de gallium. Il n'y eut donc jamais de Prix Nobel pour la conception du laser à semi-conducteurs !

Il revint à Maurice Bernard, au CNET, et à son thésard Georges Duraffourg, à partir de l'idée de Pierre Aigrain, de calculer le bilan des transitions interbandes, avec ou sans émission de phonon, et de montrer quel était, pour des niveaux d'énergie délocalisés dans les semiconducteurs, l'équivalent de l'inversion de population des niveaux localisés (1961). et d'en donner une formulation, connue maintenant sous le nom de relation de Bernard-Duraffourg.

¹⁸. Il existe bien sûr quelques écrits, outre les articles peu nombreux, comme son manuel de physique des semiconducteurs (Dunod 1958, voir note 18) ou encore *Simple Propos d'un homme de science*, Paris, Hermann, 1983.

Si Pierre Aigrain n'a jamais débordé d'enthousiasme pour écrire, il a en revanche très souvent poussé ses élèves à le faire, ce qui les a beaucoup aidés. Cependant, il s'était fixé une règle d'éthique intangible en la matière, que tous citent encore aujourd'hui car elle les a profondément marqués : jamais il ne s'est résigné à signer un article, en collaboration par exemple, qu'il n'aurait pas rédigé lui-même, au moins en partie. « *Il estimait que s'il n'avait pas lui-même tourné les boutons ou écrit les équations, explique Albert Zylberstejn, il ne signait pas.* » Pourtant, ses proches collaborateurs ont écrit nombre de papiers, dont l'idée de base leur avait été suggérée par lui. Malgré ce peu d'inclination pour l'écrit, son prestige dans le monde scientifique s'est construit par l'originalité de ses idées, mais aussi la clarté et la chaleur qu'il mettait dans la communication orale. Personnalité atypique, au faible nombre de publications, mais au rayonnement scientifique exceptionnel, il ne fut élu à l'Académie des Sciences qu'en 1988 (peut-être aussi la réforme de l'Académie qu'il avait pilotée en 1976 avait-elle laissé quelques traces?).

Par-delà cette déontologie, Pierre Aigrain, toujours fourmillant d'idées, professeur fervent et chaleureux, a imposé une marque décisive dans l'enseignement supérieur. Il a en effet, avec Jacques Friedel et André Guinier, contribué à formaliser et ancrer plus efficacement l'enseignement de la physique des solides en France, grâce en particulier à la création du D.E.A. (Diplôme d'Études Approfondies) en 1955. Tous trois obtinrent, du Directeur des Enseignements Supérieurs, Jacques Donzelot, la création d'un type de cursus alors inconnu en France, inspiré par les "graduate schools" (l'exemple britannique était à l'époque plus proche des expériences des physiciens français). Pierre Aigrain assumait pendant plusieurs années un cours novateur sur les semiconducteurs¹⁹, d'abord informel, puis intégré au nouveau DEA de physique des solides, implanté alors à l'Institut Henri Poincaré, puis transféré pour la moitié des cours à la Halle aux Vins et pour l'autre à Orsay, où A. Guinier et J. Friedel ont alors émigré. Puis Julien Bok et Minko Balkanski prirent ce cours en charge à leur tour. Grâce à cet enseignement, de nombreux jeunes physiciens ont pu se familiariser avec les semi-conducteurs.

Enfin, une dynamique constante s'est instaurée, autour de Pierre Aigrain et du laboratoire de physique des solides, en matière d'ouverture vers le monde de l'industrie. Aigrain, qui fut conseiller scientifique dans de nombreuses entreprises, notamment à la C.S.F. puis chez Thomson²⁰, a contribué à créer ce mouvement, de même que Claude Dugas qui joua en ce domaine un rôle tout aussi important, depuis la CSF qu'il avait rejointe en 1952²¹. L'équipe Aigrain a ainsi pu réaliser un véritable essaimage vers l'industrie²² et créer des interactions avantageuses ; elle a notamment fourni plusieurs directeurs de laboratoires dans de grandes entreprises et, plus généralement, grâce au D.E.A. de physique des solides, a formé de nombreux ingénieurs. Les chercheurs du laboratoire y prodiguaient le savoir récemment acquis sur les semi-conducteurs. Il y avait là, semble-t-il, une certaine réciprocité, dans la mesure où ces entreprises fournissaient en retour au laboratoire des échantillons

¹⁹ Ce cours fut aussi professé à Bruxelles, et donna lieu à la publication avec F. Englert, du premier livre en français sur les semiconducteurs et leurs applications. Un cours fait au MIT fut rédigé avec R. Coelho et G. Ascarelli et publié, sous le titre "Electronic processes in solids" (Wiley, 1960). Il fut traduit en russe en 1962.

²⁰ Pierre Aigrain fut directeur technique général chez Thomson de 1974 à 1978 puis de 1981 à 1982, avant d'occuper le poste de conseiller scientifique du Président du groupe Thomson.

²¹ En 1974, devenu directeur technique général chez Thomson, Pierre Aigrain a travaillé en collaboration étroite avec Erick Spitz, qu'il a nommé directeur du laboratoire central de Corbeville. C'est là que s'est en grande partie menée l'histoire des fibres optiques en France.

²² On ne saurait ici que citer quelques exemples : Olivier Garreta qui devint président directeur général de la filiale italienne de la CSF., Julien Bok qui fut pendant une dizaine d'années consultant chez Thomson, Philippe Nozières qui fit des séjours fréquents à Bell Labs et travailla avec Philips (ainsi que W. Mercuroff) ou Pierre Baruch qui passa un an à Bell Labs et conseilla LTT

essentiels. À certains égards également, le passage en entreprise pouvait laisser découvrir de nouveaux sujets de recherche en matière de semi-conducteurs, sur lesquels le laboratoire pouvait ensuite travailler²³. Cette expérience souligne les interactions fructueuses instaurées par les physiciens des semi-conducteurs à cette époque.

Cependant, le partenariat avec les industries fut constant, quoique non formalisé, et profitable des deux côtés : fourniture à l'ENS de matériaux rares, de composants spécialement conçus, prise de brevets –les structures administratives ne la facilitaient pas pour la recherche publique –, contrats DGRST ou DRME partagés.

Les progrès réalisés, dès l'immédiat après-guerre, en matière de semi-conducteurs ont été considérables. Bon nombre d'entre eux ont été directement inspirés par la personnalité de Pierre Aigrain. Puis, par des effets de transmission, de réappropriation et de relations tissées à l'échelle internationale, des relais importants ont permis la poursuite de tels travaux, tandis que Pierre Aigrain occupait les plus hautes fonctions. Celles-ci ne l'ont pourtant jamais empêché de demeurer solidement ancré dans la recherche, toujours passionné, et de montrer le plus grand intérêt pour les études que ses anciens élèves, devenus maîtres à leur tour, menaient dans les plus grands laboratoires, et parfois encore rue Lhomond. Ses idées fécondes étaient toujours guettées avec avidité, et lorsque, en 1981, Pierre Aigrain fut déchargé de ses tâches ministérielles, aussitôt le M.I.T. souhaita le voir revenir et poursuivre une collaboration entamée de longue date.

Au laboratoire de l'École Normale Supérieure, les physiciens des solides ont donc vécu dans la cohésion qu'il avait instaurée. Être les « fils spirituels d'Aigrain » revenait à préserver des liens d'amitié et d'échange, en dépit des éloignements géographiques et des divisions nécessaires — comme l'essaimage du laboratoire depuis l'ENS vers Jussieu en 1967. Certes, dans le laboratoire, les moyens matériels ont parfois manqué qui auraient permis d'aller plus loin encore dans l'exploitation des idées et réflexions qui y germaient. De ce point de vue, il est évident que l'avance qu'avaient prise, aux États-Unis, les Bell Labs en ce domaine, n'était pas rattrapable.

Mais précisément, au-delà de cette concurrence, l'équipe Aigrain a préféré nouer des relations de collaboration, avec les États-Unis bien sûr²⁴, mais également le Japon, l'Europe de l'Est, au cœur même de la guerre froide : la part prise dans les colloques internationaux (le

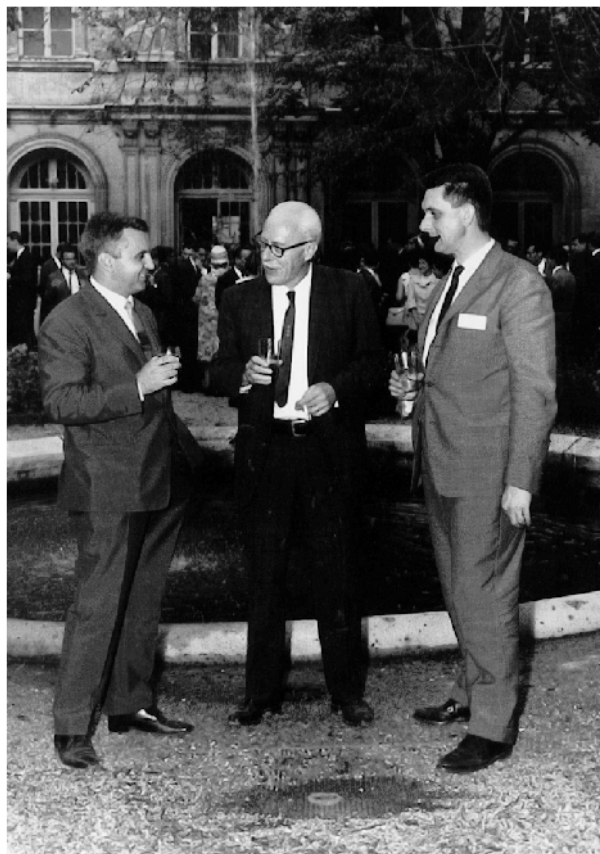


fig.5 : Juillet 1964, Congrès international des semi-conducteurs, réception à l'ENS : Minko Balkanski, Walter Brattain, Pierre Aigrain

²³ Par exemple, Pierre Baruch rappelle que, interrogé par LTT sur une anomalie de fabrication des transistors diffusés - effet "collector push"-, il en a tiré une théorie de l'(interaction défauts-impuretés qui a nourri ensuite ses recherches pendant des années.

²⁴ Fait saillant, lorsque les Bell Labs furent menacés d'éclatement, Pierre Aigrain fut appelé à témoigner, devant un juge fédéral, en faveur du maintien de l'unité de cette institution qu'il admirait et où il était apprécié

laboratoire eut l'honneur, et la tâche, d'organiser et d'accueillir à Paris en juillet 1964 la 7^{ème} Conférence internationale sur la physique des semiconducteurs), la volonté acharnée de travailler avec des chercheurs polonais, bulgares, russes, d'obtenir des autorisations pour faire venir ces jeunes physiciens rue Lhomond, alors même que de tels échanges étaient rendus extrêmement difficiles par la tension des relations internationales, tout cela témoigne d'une certaine idée de la science, chez Pierre Aigrain et ses collaborateurs, avant toute autre logique d'intérêt et tout autre conflit de préséance.

Aujourd'hui encore, retrouver ces chercheurs autour d'une table, avec Pierre Aigrain, c'est revivre, avec cette intelligence chaleureuse et humaine, une belle aventure.

Ludivine Bantigny et Pierre Baruch

(mai-juillet 2002)

Pierre Aigrain et Claude Dugas.

A l'origine du groupe de physique des solides de l'E.N.S.

(Témoignage de Claude Dugas, novembre 2001).

[Sollicité par mes amis], j'ai décidé d'écrire une courte version de ce qui nous a rapprochés, [Pierre et moi], jusqu'à devenir deux frères, sans autre sens que le nôtre, [ce] qui durera toute notre vie. Quand j'ai pris ma retraite, mes enfants m'ont demandé d'écrire quelque chose, pour essayer de situer ce que j'avais essayé de faire, et je n'avais trouvé qu'un titre, " le paysan normalien ".

[Avant d'en arriver à ma] situation à l'Ecole Normale et sa suite, je me ferais un plaisir de vous éviter la longue histoire (vue par moi) des années 1923 à 1943. Elevé par des parents isolés (nous étions à un bon kilomètre de tout autre personne), j'ai été entraîné par un grand-père à apprendre à lire, à écrire, à faire des équations avant l'âge d'aller à l'école. La catastrophe arriva quelque temps plus tard : j'ai attrapé un abcès à la hanche droite et, après des études difficiles, c'est finalement un chirurgien de Saintes qui m'a immédiatement transporté à la clinique et m'a utilisé (sans médicaments, seulement du Dakin et des soins intensifs), pour me retrouver, plus de deux mois après, [sans] plus d'articulation, pas de rotation, pas de flexion, etc., mais j'étais en vie. Une petite année de transit avec des livres et c'est peut-être là que ma carrière a commencé.

[Voilà qui donnera] une idée des parcours sélectifs : j'ai passé mon certificat d'études primaires en 1932, avec un concours de bourse. Au collège Saint-Jean d'Angély, j'ai préparé mon admission à l'Ecole d'instituteurs où j'ai été admis en 1936, mais refusé par manque de capacité physique. Peut-être le jury avait-il décidé de me faire admettre au collège St Jean en 2^e B. J'y ai eu des professeurs remarquables, M. Nevoit en physique chimie et M. Trescos en mathématiques ; après le bac, ils ont décidé que je devais faire Normale Sup (...). Ils ont écrit au principal de Saint-Louis pour me faire admettre en NSE [préparation à Normale sciences expérimentales] et cela a marché. Je n'épiloguerai pas sur la nécessité de prévoir des programmes de changement (j'en ai connu beaucoup), mais aujourd'hui je n'aurais aucune chance d'arriver à Normale Sup.

NSE puis l'Ecole Normale.

Le parcours à Saint-Louis pendant la guerre était très remarquable aussi, et les professeurs y étaient très motivés. En 1943, [lorsque j'ai passé le concours de l'ENS], j'ai eu un sentiment de désespoir, le professeur Delsarte avait organisé une opération digne des mathématiciens Bourbaki. Personne ne savait répondre à la première question et je savais faire tout le reste. J'ai donc écrit que j'admettrais la première question et j'ai fini le reste. J'étais admissible avec 5/20 en sciences naturelles, j'ai passé l'oral et avec un deuxième 5/20, [mais] grâce aux maths et à la physique j'étais quelque chose [comme] 6^e si mes souvenirs sont bons.

Entre 44 et 45 on se contentait de passer les examens, mais ce qui nous faisait un peu peur, [c']était la situation du labo de physique. MM. Bloch et Abraham n'étaient plus là et en fin 44 M. Bruhat avait refusé de livrer un élève, la Gestapo l'avait emmené sans que l'on sache où il était. Il devait mourir à Buchenwald. En 45-46, je cherchais partout un maître [pour] organiser le domaine qui me passionnait, sans bien savoir, et mon ami Blanc Lapierre,

agréé préparateur, m'avait indiqué le chemin d'Y. Rocard pour faire quelque chose de nouveau, vers les semi-conducteurs après avoir lu les articles américains de la guerre. Je suis allé voir Yves Rocard qui m'a reçu de façon extraordinaire. Après une longue discussion sur les cellules photo-électriques, il m'a demandé de faire une enquête sur les revues américaines et une semaine plus tard il m'a demandé de partir, pour la Marine, vers le lac de Constance où il y avait une grande équipe orientée vers les cellules au sulfure de plomb qui permettaient de faire de la vision nocturne. J'ai naturellement accepté et suis allé préparer mon diplôme d'études supérieures. Je ne connaissais pas P. Aigrain, alors, et lui pas davantage. J'ai été parfaitement accepté par les Allemands et au bout de quelques jours je faisais partie de l'équipe, dont le patron était un grand physicien, qui après un séjour à Paris, est devenu le patron du labo Siemens. J'avais une secrétaire qui parlait parfaitement le français et qui m'a beaucoup aidé. Admis lieutenant, on ne sait pas pourquoi, j'ai pu me rendre compte à ce niveau de ce que l'effet de la guerre avait réduit tant de gens à la disette. Avec ma capacité à acheter des produits ordinaires (sucre, café, divers produits souvent américains...), j'avais réussi à céder ces produits aux Allemands, ce qui m'a valu, quelque temps après, que ma secrétaire [me demande] si je n'étais pas un physicien envoyé pour contrôler le fonctionnement du labo, en quelque sorte un espion... Je lui ai demandé si elle avait manifesté cette drôle d'idée auprès de ses supérieurs. Elle m'a expliqué que l'on ne demandait pas l'avis des supérieurs. Je suis donc allé voir les "dits" supérieurs et nous avons ensemble piqué un grand accès de rire. Après quelques mois, je suis revenu [et] j'ai gardé de bonnes relations avec une petite équipe qui nous avait suivis.

[De retour] à l'Ecole, je me suis tourné vers les revues américaines et ai continué à me tenir au courant (souvent seul, car Rocard était débordé). Un jour M. Rocard est arrivé avec un livre qui me passionnait, *Théorie moderne des solides*, [de Frederic Seitz], écrit pendant la guerre aux Etats-Unis et je me suis précipité sur cet ouvrage. M. Rocard m'avait demandé si je pouvais traduire ce livre en français et m'a mis en rapport avec la librairie Masson. Il y avait de nombreux endroits avec des citations d'articles français (piézoélectricité, magnétisme grâce à M. Neel, une partie sur les travaux de M. de Broglie mais avec des paragraphes entiers liés en général à des travaux allemands). Je suis donc parti pour traduire le livre, quelquefois assez facile, souvent beaucoup plus difficile et j'ai travaillé toutes les vacances et une partie [de] l'année de l'agreg. J'avais des rapports avec M. Frederic Seitz et il me demandait si je pouvais aller le rejoindre. Hélas l'année d'agrégation était fortement diminuée mais j'avais obtenu une bourse du C.N.R.S. pour l'année suivante. Je me présentais à l'agreg mais la pénurie de professeurs était trop grande et l'on nous avait annoncé qu'il n'y aurait qu'un seul admis [à ne pas enseigner dans le secondaire]. A la fin du concours, le président du jury m'a clairement indiqué que je pouvais avoir un "bon endroit" mais que si je ne laissais pas ma bourse C.N.R.S., je ne serai pas agrégé. Hélas j'ai refusé, ce qui me valut de M. Rocard le commentaire suivant : "une bonne décision". C'est ainsi que je suis parti à Pittsburgh chez M. Frederic Seitz où enfin j'ai rencontré Pierre.

L'arrivée aux Etats-Unis. Rencontre avec F. Seitz et P. Aigrain.

Je suis parti en septembre 1948 à bord d'un Liberty Ship qui transportait un grand nombre d'étudiants, par un temps épouvantable. Arrivé à New York un dimanche matin, j'ai pris le train pour Pittsburgh le soir même et je suis allé voir F. Seitz que je ne connaissais pas directement. Et c'est là, dans le bureau de F. Seitz, que Pierre, aussitôt appelé, a réussi, dans un bon moment, à me faire croire qu'il était américain. Ils ont discuté assez longtemps, je ne pouvais vraiment participer, jusqu'au moment où Seitz a indiqué qu'il avait un cours et que nous [nous] retrouverions plus tard à la cafétéria. La porte refermée, Pierre est parti dans un français parfait et je lui ai posé la première question : Comment avez-vous fait

pour parler aussi bien le français ? La réponse est tombée : je suis né à Poitiers, je suis allé au lycée St Louis (mais les dates ne coïncident pas, je suis arrivé en 1943 et Pierre était déjà à bord de la flotte qui allait se saborder). Par contre il savait déjà par Yves Rocard et Seitz que j'allais arriver. Je crois avoir rencontré Francine [Aigrain] le même soir et nous sommes devenus amis inséparables depuis.

Ensuite nous avons regardé tout ce qu'il [y] avait à faire. Pierre était au département de l'Electrical Engineering et moi au département de physique dirigé par Seitz ; l'ensemble Carnegie Tech était remarquable mais pas très volumineux. Pierre avait déjà fait des inventions majeures (par exemple le code dit Gray, [pour lequel] les deux brevets pris à peu près le même jour étaient restés sans application directe car il y avait une difficulté, mais le Bell System était bien plus puissant que l'I.T.T. et en plus Claude Shannon était chez Bell et le système s'est appelé Gray code. Il avait de toute manière libre disposition pour aller écouter les cours ou conférences avec l'intérêt qu'il marquait pour tout ce qui était un peu nouveau...

De mon côté, Seitz étant toujours en mouvement, on m'avait attribué une place dans le labo d'Estermann (si mes souvenirs sont bons, ancien assistant de Stern et Gerlach) qui avait un avantage : il parlait le français. Un des premiers exercices qu'on m'avait attribués était le comportement du nitrure de niobium (aux Etats-Unis on disait columbium) qui pouvait devenir supraconducteur à des températures voisines de l'hydrogène liquide. On avait deux difficultés en dehors de la fabrication et de la pose des électrodes : la machine à faire de l'hydrogène était assez peu importante et elle marchait directement sur des bouteilles, quelquefois un peu d'air gênait et la machine s'arrêtait ; les résultats étaient douteux. Quelques années plus tard, à la C.S.F., nous avons pris des fils de niobium que l'on faisait traverser des mélanges d'étain [fondu], ce qui permettait de faire des systèmes plus importants. Ce qui m'intéressa beaucoup était le département métallurgie où l'on pouvait s'essayer sur des composés différents, sans que l'on puisse vraiment aller jusqu'aux monocristaux. C'est alors que Seitz m'avait expédié à Bell Lab où j'ai [connu] des choses vraiment nouvelles. D'abord la réception d'un petit étudiant étranger, arrivant dans un ensemble de grands théoriciens avec une défense majeure (interdiction de parler des études transistors qui étaient classées secret défense, respect des brevets, etc.) ; l'appui de F. Seitz, futur président de l'Académie des sciences américaine et [la familiarité avec] tous les domaines dans lesquels il travaillait m'avaient ouvert la porte. J'ai rencontré Shockley, Brattain l'expérimentateur, Bardeen. Quelques années plus tard ils étaient Prix Nobel de physique et nous les avons rencontrés à l'Ecole normale avec Pierre ; ils ont passé des moments importants dans notre laboratoire, les idées de Pierre les avaient marqués et chaque année nous avions deux ou trois personnes qui venaient nous voir. Un vice-président de Bell Lab, M. Morton, m'avait un jour répondu : "C'est une action régulière, nous avons des relations avec tous les grands labos (le nôtre n'était pas si grand !) et quand nous confrontons nos idées avec celles de Philips, Siemens, l'Ecole normale etc. nous sommes gagnants à tous les coups, même si on fait autre chose". Pendant mon séjour à l'Ecole, puis dans l'industrie, à la C.S.F., j'ai souvent fait mon voyage [aux Etats Unis pour] n'obtenir qu'une petite réponse invalidant [ma] question : " Le brevet n'est pas encore pris et nous vous informerons très vite du résultat. " Le cas inverse était hélas plus rare mais par exemple les travaux effectués par Pierre [ainsi que] par Benoît à La Guillaume et d'autres sur l'émission de lumière étaient très intéressants, dommage que Pierre [n'ait] pas eu le courage d'écrire les travaux qu'ils connaissaient avant la réunion de Bruxelles. J'ai souvent regretté de ne lui avoir pas proposé un article. Evidemment nous manquions d'AsGa. En dehors des actions menées par Pierre avec les grands organismes américains à l'Office of Naval Research [ONR] et l'Air Force Office of Scientific Research, il y avait aussi d'autres contrats, Estermann était mon maître

mais aussi un ami, avant d'arriver à l'ONR et même dans l'industrie, comme nous travaillions très régulièrement avec l'Ecole normale, on avait droit aussi au contrat.

Pendant ces années d'origine nous avons appris les relations internationales, qui se sont développées très largement au-delà de notre axe de départ. Pour les seuls Etats-Unis, j'ai ensuite étendu les grands axes (M.I.T. avec son programme de collaboration, R.C.A. où le physicien Pankove était venu au labo de l'Ecole et était le premier à faire les transistors par alliage).

Le laboratoire de physique de l'Ecole Normale et l'industrie

Je dois cependant indiquer comment en 1952 j'ai quitté l'Ecole normale pour la C.S.F., sans toutefois abandonner l'Ecole. La réponse était simple, depuis quelque temps M. Ponte, camarade d'Y. Rocard, au temps de l'Ecole, voulait monter un labo de semi-conducteurs (diodes, transistors, et ce que l'on prévoyait comme autres développements). Il a donc demandé à M. Rocard s'il n'avait pas un élève susceptible de prendre le labo de semi-conducteurs à créer. Il y avait Pierre et moi-même, mais Pierre avait des problèmes avec la Marine. Après une série de discussions très sérieuses avec M. Ponte, je me suis retrouvé en juin 1952 chef de service, avec un beau bureau neuf et des moyens assez considérables pour commander du matériel, embaucher des ingénieurs de l'intérieur mais aussi de l'extérieur. Parti de rien, en octobre, j'avais déjà quelques ingénieurs, des techniciennes triées sur le volet en provenance des tubes électroniques et le système est parti. C'était assez extraordinaire d'avoir tous les moyens et un personnel qui était pendu après les résultats. Peu de temps après, je ne sais pas exactement quand, on a monté une usine à Grenoble. C'était une énorme satisfaction et l'ensemble, malgré les différences, marchait (diodes, transistors...). J'allais à Grenoble une fois par semaine. C'était peut-être une nouvelle rentrée à l'E.N.S., mais surtout on envisageait un nombre croissant de personnes. Sans doute cet accroissement était très important, enfin on allait obtenir des résultats positifs.

Une chose m'était restée, j'allais presque tous les samedis matins à l'Ecole. Rapidement, j'ai appris à donner certains échantillons ou quelques idées sur les fours [et autres équipements]. mais ce que j'avais de plus simple à faire était aussi d'embaucher de jeunes ingénieurs ou d'obtenir de l'aide des scientifiques du labo. Naturellement le premier conseil que j'ai rencontré était Pierre qui était très dynamique et qui avait un pouvoir énorme sur tout le personnel, des ingénieurs jusqu'aux techniciennes, habituées à des manœuvres très difficiles. Quelquefois les techniciens se précipitaient sur les produits et fabriquaient, dans les minutes qui suivaient sa venue, la "sauce miracle". Un jour, on [en] avait fabriqué une grande quantité et posé le bidon de plastique très haut. Après dix minutes on a vu une belle excroissance sur la bouteille et le système a traversé à l'horizontale tout le labo avec comme commentaire (puisque personne n'était touché) : "J'avais oublié que c'était un produit fait pour les V2." Je ne voudrais pas oublier tous ceux qui comme J. Bok, Garreta, Leclerc et d'autres ont été des alliés avec des idées solides sans avoir le même réflexe que Pierre et qui dans certains cas préféraient faire quelques manips.

Le professeur Bauer au cours de discussions avec Pierre et moi-même, puisque nos deux thèses ont eu lieu à une dizaine de jours [près], nous avait demandé en deuxième thèse d'évaluer l'oxydo-réduction pour des substances utilisées dans les différents processus de catalyse, à partir des substances de base. Pierre et moi sommes entrés en discussion et travail, [et nous avons obtenu] l'aide d'un chimiste normalien, Germain, déjà en thèse, pour essayer de cadrer notre étude de semi-conducteurs avec des actions déjà réussies. Nous avons publié à cette époque un travail aidant à comprendre l'absorption-désorption des molécules, assistées non seulement par les simples mécanismes d'oxydo-réduction mais aussi par le rôle de

couches superficielles de nature plus ou moins n ou p. Cette étude a été présentée quelque temps plus tard par le professeur Kastler à l'une des premières réunions après guerre à Berlin. Il avait traduit notre papier et ses implications et nous avons été considérés pendant quelque temps comme des physico-chimistes intéressés par l'action en surface. Même nos amis des Bell Labs nous ont demandé des applications.

Beaucoup de jeunes m'ont souvent expliqué que leur travail avait contribué à défaire notre thèse et à en donner d'autres explications. On pourrait dire "quelle chance"!. En tout cas, c'est par cette contribution, très solide et très aidée, que je puis dire que notre maître à tous les deux, et aussi à beaucoup d'autres, a été le professeur Yves Rocard qui privilégiait toujours une sorte de recherche en avant, même si elle devait être compromise. Notre rencontre à Pierre [et moi a] été privilégiée par le professeur Y. Rocard.

A JOURNEY WITH PIERRE AIGRAIN

Frederick Seitz, Rockefeller University (15 mai 2002)

One of the rewarding results of having an active and diversified professional career is the opportunity it gives to meet a wide range of other professional individuals, some of whom may provide one with a genuine sense of awe because of their remarkable abilities and personalities. Such was the case for me, for example, on encountering the brilliant Hungarian-American scientists John von Neumann and Eugene Wigner. It was also true for me in relation to Pierre Aigrain.

I first met Pierre in Pittsburgh, Pennsylvania in 1946, immediately after the end of World War II, when he was twenty-two years of age. He had been a French Naval Cadet and was sent to United States, along with about two hundred other cadets, first to study at Norfolk, Virginia and then for naval flight training at Memphis, Tennessee. A relatively small fraction of the group were judged to be better suited for other forms of specialization and, through the action of Captain Guignonis who later became a high executive of the Thompson-CSF Corporation, were admitted to the Carnegie Institute of Technology for study toward a Masters degree²⁵. This special segment proved for the most part to be exceptionally successful in their later careers, which included involvement in areas such as technology, administration and politics.

Pierre decided to focus his immediate attention on the advances in electrical engineering and electronics that had occurred as a result of wartime research and joined the Department of Electrical Engineering. He proved to be sufficiently outstanding as an investigator that Professor F. M. Williams, who served as his friend and brilliant mentor, arranged for him to receive a fellowship that would permit him to carry on the research and study required to receive a Doctor's degree.

Although his immediate interests lay in activities in the Department of electrical engineering, Pierre rapidly permeated every nook and cranny of the institution that had any relevance to a broader mission related to absorbing as much knowledge of science as engineering. I was then Head of the Physics Department and had, as a result of wartime and post-war opportunities, established research programs in nuclear and solid state physics which Pierre followed with deep interest along with his primary research in electrical engineering. He rapidly became a very active member of the family of alert and creative individuals on campus, being admired on all sides for his breadth of understanding and enterprise. He received a doctor's degree in 1948.

Actually Pierre's greatest personal reward as a result of this early American experience was to meet his lifetime companion Francine Bogard who, with her parents, had left Europe for United States early in World War II in order to avoid the sinister excesses promised by Hitler. They were married in 1947 during the Pittsburgh phase of his student career.

On returning to France he first resumed close association with the French Navy under circumstances that permitted him to continue ever-broadening mastery of the fields of

²⁵ [Note de Francine Aigrain : Pierre was sent to the US in order to study in Norfolk, then try and become, with some 200 other young naval ensigns, naval flyers in Memphis, Tenn. A few of those young men failed and with the exception of very few others who later became high ranking naval officers, two admirals, they were on the whole the ones who pursued the most successful careers in engineering, parliament, city administration (Hubert Dubedout, mayor of Grenoble).]

science and engineering. In order to conform to the national requirement that he have a French Doctor's degree if he were to teach at a French University, he entered the University system in Paris as an advanced student and obtained a second Doctor's degree, this time in Physics.

As a result of his remarkable ability to absorb and digest diverse knowledge, his productive activities rapidly spread out into a wide variety of areas. Moreover he soon became deeply involved in many governmental and academic posts, serving as a creative investigator and advisor.

The 1950s and 1960s were decades in which advances in air travel made it relatively easy to bridge the Atlantic. As a result there was scarcely a year during which I, often accompanied by my wife or other friends, did not have at least one good reason to be in Paris and incidentally stop by to see the happily married Aigrains and their growing family. These visits always had an exceptional character. While there was much, usually jolly, discussion of personal affairs and current events, the occasions inevitably gave Pierre an opportunity to bring up in an unpretentious way unusual issues from his vast fund of accumulated knowledge and wisdom. These could cover a broad range, including technical, historical, political or social matters.

One inevitably came away from their home enriched in understanding as well as with additions to an ever-growing collection of happy memories.

Along the way it was evident that Pierre was well on the road to serving his country at higher and higher levels, whether related to science policy, technology, military affairs, nuclear power or education. He was traversing a course that would bring forth the inherent, very personal, qualities of statesmanship that he possessed and which would eventually lead to his appointment as *Secrétaire d'Etat auprès du Premier Ministre, chargé de la Recherche* (1978-81). Pierre's approach to family, friends and the affairs of life remained remarkably unchanged throughout this ascent, which carried with it many well-deserved honors at the highest levels. A reunion with Francine and him was always a delightfully friendly and informative affair.

There are countless anecdotes regarding this rich association that could be related. Only a book would do if any degree of completeness were the goal. But there is one that we both recall with wry amusement. In 1959 and 1960 I had served in Paris as Science Advisor to the North Atlantic Treaty Organization (NATO), heading an office that distributed grants for basic, unclassified scientific research. My successor, William Nierenberg, decided that the office should sponsor the creation of an international university in which scientific research would be featured, among many other things. An advisory committee was chosen to review the matter and to propose plans and programs. Both Pierre and I were selected to serve on the committee. It labored extensively to work out details.

The day arrived for a terminal meeting at which our report was to be given a final review with the expectation that it would then be sent on to the governing Council of NATO for approval and funding. Among the numerous details there was general agreement that the University should probably be sited in France. Pierre arrived at the meeting slightly late. Normally we had tried to sit next to one another at the meetings, but on this occasion the only available seat left for Pierre was opposite me, on the other side of the table. He jokingly remarked: "Fred, at last we are on opposite sides of an important issue!" We both laughed. A few minutes later a courier arrived with a message for Pierre from President De Gaulle. Its message was direct: France vetoes the plan for a NATO university! The entire program was dead in the water.